



First Semester Examination
2019/2020 Academic Session

December 2019 / January 2020

EMC201 – Measurement & Instrumentation
[Pengukuran & Peralatan]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of TWELVE [12] printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi DUA BELAS [12] mukasurat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.]

INSTRUCTIONS : Answer **ALL FIVE [5]** questions.
[ARAHAN : Jawab **SEMUA LIMA [5]** soalan.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]

...2/-

1. [a] A spring balance is calibrated in an environment at a temperature of 20 °C and has the following deflection/load characteristic as shown in Table 1[a]. It is then used in an environment at a temperature of 30 °C and the deflection/load characteristic is measured.

Imbangan berpegas ditentukan dalam persekitaran pada suhu 20 °C dan mempunyai ciri pesongan/beban seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1[a] berikut. Ia kemudian digunakan dalam persekitaran pada suhu 30 °C dan ciri pesongan/beban diukur.

Table 1[a] / Jadual 1[a]

Load (kg)	Deflection at 20 °C (mm)	Deflection 30 °C (mm)
0	0	4
1	20	26
2	40	48
3	60	69
4	80	92
5	100	114

Based on the information given,

Berdasarkan maklumat yang diberikan,

- (i) **Characterize TWO (2) measurement errors that might exist when the spring balance is used at a temperature of 30 °C.**

Cirikan DUA (2) ralat pengukuran yang mungkin wujud apabila imbangan berpegas ini digunakan pada suhu 30 °C.

- (ii) **Determine the measurement errors in part (i) separately.**

Tentukan ralat pengukuran dalam bahagian (i) secara berasingan.

- (iii) **Estimate the total error when the spring balance produces a deflection of 80 mm at a temperature of 30 °C.**

Anggarkan jumlah ralat apabila imbangan berpegas ini menghasilkan pesongan 80 mm pada suhu 30 °C.

(50 marks/markah)

...3/-

- [b] In an experiment, the density of a metal composite is to be determined. The metal composite takes the form as a cylindrical ingot. The volume of the ingot is determined from diameter and length measurements. With existing measuring equipment in the laboratory, the mass m , can be determined to within 0.1 kg; the length L , can be determined to within 0.01 cm and the diameter D , to within 0.005 cm. Equipment for each variable has a known calibration uncertainty of 1% of its reading.

Dalam satu eksperimen, ketumpatan komposit logam perlu ditentukan. Komposit logam mengambil bentuk sebagai jongkong silinder. Isipadu jongkong ditentukan dari ukuran diameter dan panjangnya. Dengan peralatan pengukuran sedia ada di makmal, jisim m , boleh ditentukan dalam lingkungan 0.1 kg; panjang L , boleh ditentukan dalam lingkungan 0.01 cm dan diameter D , dalam lingkungan 0.005 cm. Peralatan bagi setiap pembolehubah mempunyai ketidakpastian penentuan yang diketahui sebanyak 1% daripada bacaannya.

If the nominal values, $m = 4.5$ kg, $L = 8$ cm, and $D = 4$ cm,

Sekiranya nilai nominal, $m = 4.5$ kg, $L = 8$ cm, dan $D = 4$ cm,

- (i) **estimate the total uncertainty in the determination of the density.**

anggarkan jumlah ketidakpastian dalam penentuan ketumpatan.

- (ii) **identify which measuring equipment should be improved first if the uncertainty in density is unacceptable? Please justify your answer.**

kenalpastkani peralatan pengukuran yang mana harus diperbaiki terlebih dahulu jika ketidakpastian dalam kepadatan tidak dapat diterima? Sila jelaskan jawapan anda.

(50 marks/markah)

2. [a] **A rotating shaft produces an unusual low frequency vibration during its operation. An engineer attempts to find the root cause of the vibration by approximating the vibration signal (in μm) mathematically using an equation below:**

Aci berputar menghasilkan getaran frekuensi rendah yang luar biasa semasa beroperasi. Seorang jurutera cuba mencari sebab utama getaran dengan menghampiri isyarat getaran secara matematik dengan persamaan di bawah:

...4/-

$$y(t) = 46.56 + 45.34 \sin 81.68t + 55.56 \sin 245.04t + 31.54 \cos 81.68t \\ + 22.78 \cos 245.04t + 32.33 \cos 408.40t + 44.53 \sin 408.40t$$

- (i) **Plot frequency spectrum from the given equation.**
Plotkan spektrum frekuensi dari persamaan yang diberi
- (ii) **Identify frequency component(s) that might be detected accurately, if the vibration signal as expressed in the equation is sampled at 80 Hz.**

Kenalpastikan komponen frekuensi yang mungkin dikesan dengan tepat, jika isyarat getaran seperti yang dinyatakan dalam persamaan disampelkan pada 80 Hz.

- (iii) **Determine the minimum sampling frequency that might resolved all harmonic components as expressed in the equation.**

Tentukan frekuensi persampelan minimum yang mungkin dapat menentukan kesemua komponen harmonik seperti yang dinyatakan dalam persamaan.

(40 marks/markah)

- [b] Aliasing occur when an analog cosine wave with frequency of 300 Hz is discretely sampled at a rate of 500 Hz. On a graph paper, show that the apparent frequency that can be measured in this sampling is 100 Hz.**

Aliasing berlaku apabila gelombang analog kosinus 300 Hz disampelkan secara diskrit dengan kadar 500 Hz. Dalam satu kertas graf, tunjukkan bahawa frekuensi nyata yang dapat diukur dalam sampel ini ialah 100 Hz.

Hence, using a folding diagram,

Dengan menggunakan satu gambarajah lipat,

- (i) **estimate the alias frequency that might be detected in this sampling.**

anggarkan frekuensi alias yang mungkin dikesan dalam pensampelan ini.

...5/-

- (ii) show that the alias frequency f_a will be null if the sampling frequency f_s is at least double the signal frequency, or $f_s > 2f$.

tunjukkan bahawa frekuensi alias f_a akan jadi kosong jika frekuensi persampelan f_s adalah sekurang-kurangnya dua kali ganda frekuensi isyarat, atau $f_s > 2f$.

- (iii) show that the alias frequency f_a is always the difference between the sampling frequency f_s and signal frequency, f with the condition that the $f < f_s < 2f$.

tunjukkan bahawa frekuensi alias f_a adalah sentiasa nilai perbezaan antara frekuensi persampelan, f_s dan frekuensi isyarat, f dengan syarat $f < f_s < 2f$.

(60 marks/markah)

3. [a] Figure 3[a] shows a simple RC circuit resembling a battery charging condition on a mobile phone.

Rajah 3[a] menunjukkan litar RC ringkas menyerupai keadaan pengecasan bateri pada telefon bimbit.

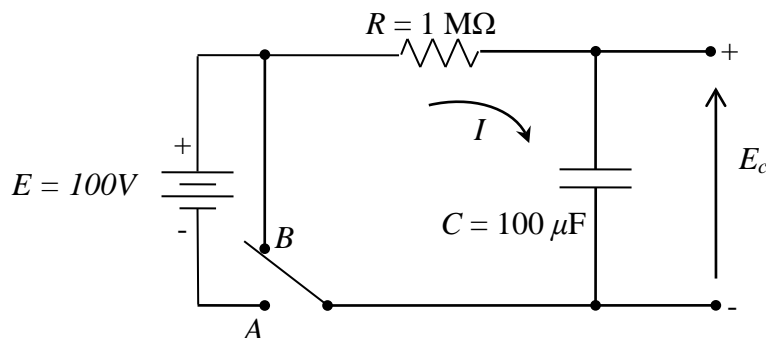


Figure 3[a]
Rajah 3[a]

- (i) Assuming that the capacitor carries no initial charge and then the switch is moved from B to contact A. Prove that the voltage drop across E_c when the time t elapses is $E_c = E(1 - e^{-t/\tau})$, where τ is a time constant.

Anggapkan bahawa kapasitor ini tidak bercas pada mulanya dan kemudian suis dibiarkan menyentuh titik A. Buktikan bahawa voltan merentasi E_c apabila masa, t berlalu adalah $E_c = E(1 - e^{-t/\tau})$, di mana τ adalah pemalar masa.

...6/-

- (ii) Determine the time difference for the voltage drop across E_c to reach over 10 % and 90% of the maximum capacity.

Tentukan perbezaan masa untuk voltan merentasi E_c untuk mencapai lebih dari 10% dan 90% kapasiti maksimum.

- (iii) Suggest ONE (1) method to reduce the charging time up to 50% to reach 90% of the maximum capacity. Justify your method mathematically.

Cadangkan SATU (1) kaedah untuk mengurangkan masa pengecasan sebanyak 50% untuk mencapai 90% kapasiti maksimum. Jelaskan kaedah anda secara matematik.

(60 marks/markah)

- [b] A temperature sensor is to be selected to monitor temperature change within a steam boiler. Several temperature sensors with different time constants of 1 ms, 3 ms and 5 ms are available. The temperature in the boiler is known to behave as a simple harmonic system with the frequency varies from 1 to 10 Hz. Based on the information given select a suitable sensor so that the dynamic error of the temperature sensor is within 3%.

Peranti suhu akan dipilih untuk memantau perubahan suhu dalam dandang stim. Beberapa peranti suhu dengan pemalar masa yang berbeza iaitu 1 ms, 3 ms dan 5 ms boleh didapati. Suhu dalam dandang diketahui berkelakuan sebagai sistem harmonik yang mudah dengan frekuensi berbeza dari 1 hingga 10 Hz. Berdasarkan maklumat yang diberikan pilih peranti yang sesuai supaya ralat dinamik sensor suhu berada dalam lingkungan 3%.

The solution of the first order simple harmonic system is expressed as:

Penyelesaian sistem harmonik mudah pertama adalah dinyatakan sebagai:

$$s = A_1 e^{-t/\tau} + \frac{F_0/k}{\sqrt{1 + (\tau\Omega)^2}} \cos(\Omega t - \varphi)$$

where,
di mana,

F_0 = the amplitude of the forcing function
 F_0 = amplitud untuk fungsi penguja

...7/-

k = the deflection constant

k = pemalar pesongan

Ω = the circular frequency of the forcing function in radians per second

Ω = frekuensi pekeliling fungsi penguja dalam radians sesaat

A_1 = a constant whose value depends on the initial conditions

A_1 = pemalar di mana nilainya bergantung kepada keadaan awal

τ = the time constant = $\frac{\xi}{k}$

τ = pemalar masa = $\frac{\xi}{k}$

ξ = the damping coefficient

ξ = pekali redaman

φ = the phase lag = $\tan^{-1} \frac{\Omega \xi}{k} = \tan^{-1} \frac{2\pi}{T} \tau$

φ = fasa ketinggalan = $\tan^{-1} \frac{\Omega \xi}{k} = \tan^{-1} \frac{2\pi}{T} \tau$

$T = \frac{2\pi}{\Omega}$ = the period of excitation cycle in seconds

$T = \frac{2\pi}{\Omega}$ = tempoh kitaran pengujaan dalam saat

(40 marks/markah)

4. [a] List THREE (3) ways to change capacity of a capacitive sensor with the help of a sketch.

Senaraikan TIGA (3) cara untuk menukar kapasiti sensor kapasitif dengan bantuan lakaran.

(25 marks/markah)

- [b] The following Figure 4[b] shows a capacitive displacement sensor designed to monitor small changes in work-piece position. The two metal cylinders are separated by a plastic sheath/bearing of thickness 1 mm and dielectric constant at 1 kHz of 2.5. Given that the capacitance C between parallel plates with an overlapping area A and distance d is given by

Rajah 4[b] berikut menunjukkan sensor anjakan kapasitif yang direka untuk memantau perubahan kecil dalam kedudukan kepingan kerja. Kedua-dua silinder logam dipisahkan oleh sarung plastik/gelas dengan ketebalan 1 mm dan pemalar dielektrik pada 1 kHz adalah 2.5. Diberikan

...8/-

bahawa nilai kapasitan C di antara dua plat selari dengan luas bertindih A dan jarak d diberikan oleh

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$$

where K is the dielectric coefficient of the substance between the plates ($K = 1$ for air) and ϵ_0 is the permittivity of free space (8.85 pF/m).

di mana K ialah koefisien dielektrik bagi bahan di antara plat ($K = 1$ bagi udara) dan ϵ_0 ialah kebolehtelusan ruang bebas (8.85 pF/m).

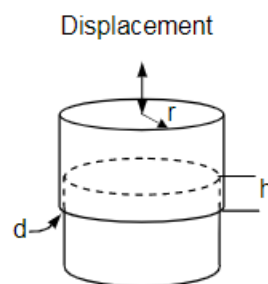


Figure 4[b]
Rajah 4[b]

- (i) If the radius is 2.5 cm, find the sensitivity in pF/m as the upper cylinder slides in and out of the lower cylinder.

Jika jejari adalah 2.5 cm, dapatkan sensitiviti dalam pF/m apabila silinder atas meluncur masuk dan keluar dari silinder bawah.

- (ii) What is the range of capacity if h varies from 1.0 to 2.0 cm?
Apakah julat kapasiti jika h berubah dari 1.0 hingga 2.0 cm?

- (iii) Suggest TWO (2) methods to double the sensitivity of the capacitive displacement sensor in this application. Justify your method mathematically.

Cadangkan DUA (2) kaedah untuk menggandakan kepekaan kapasitif sensor anjakan dalam aplikasi ini. Jelaskan kaedah anda secara matematik.

(75 marks/markah)

...9/-

5. [a] List any FIVE (5) common functions of the signal-conditioning stage.
Senaraikan mana-mana LIMA (5) fungsi umum tahap pemancar-isyarat.

(20 marks/markah)

- [b] Figure 5[b] shows a combined model of input source, amplifier, and output load.

Rajah 5[b] menunjukkan model gabungan sumber input, penguat, dan beban keluaran.

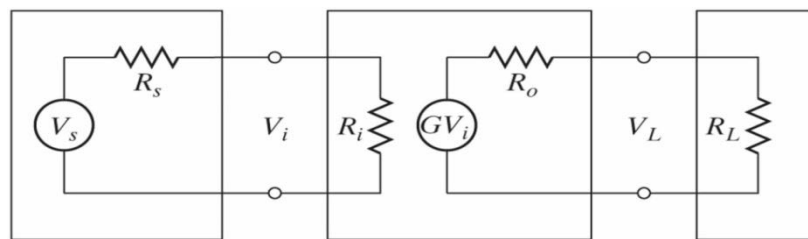


Figure 5[b]
Rajah 5[b]

- (i) Derive an expression for the output voltage, V_L amplifier in terms of the other variables shown in Figure 5[b].

Terbitkan suatu ungkapan untuk voltan keluaran, V_L dalam sebutan pembolehubah-pembolehubah yang lain dalam Rajah 5[b].

- (ii) Suggest TWO (2) ways to minimize loading effects at the input and output of the model.

Cadangkan DUA (2) cara untuk meminimumkan kesan pemuatan pada input dan keluaran model tersebut.

(50 marks/markah)

- [b] Figure 5[b] shows a simple 8-bit digital-to-analog converter (DAC). Given that $R = 1000 \Omega$, $R_G = 100 \text{ k}\Omega$ and $E_{ref} = 5 \text{ V}$. Calculate the output voltage for

Rajah 5[b] menunjukkan penukar digital-ke-analog (DAC) 8-bit mudah. Kirakan voltan keluaran untuk

- (i) digital input 1000 0001
input digital 1000 0001

...10/-

(ii) **digital input 1001 0010**
input digital 1001 0010

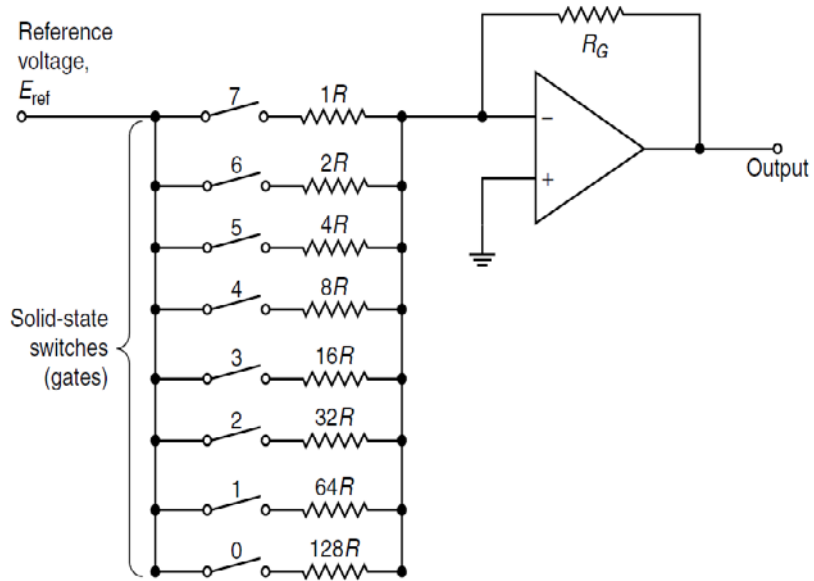
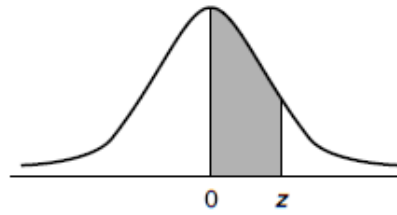


Figure 5[b]
Rajah 5[b]

(30 marks/markah)

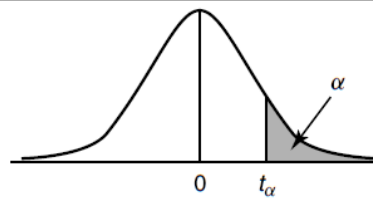
- oooOooo -

Appendix A



Second Decimal Place in z										
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3154	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990
3.1	0.4990	0.4991	0.4991	0.4991	0.4992	0.4992	0.4992	0.4992	0.4993	0.4993
3.2	0.4993	0.4993	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4995	0.4995	0.4995
3.3	0.4995	0.4995	0.4995	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4997
3.4	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4998
3.5	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998
3.6	0.4998	0.4998	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.7	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.8	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.9	0.5000*									

* For $z \geq 3.90$, the areas are 0.5000 to four decimal places.

Appendix B: Student's t -Distribution (Values of $t_{\alpha, \nu}$)

ν	$t_{0.10, \nu}$	$t_{0.05, \nu}$	$t_{0.025, \nu}$	$t_{0.01, \nu}$	$t_{0.005, \nu}$	ν
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	11
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	12
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	13
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	14
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	15
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	16
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	17
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	18
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	19
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	20
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	21
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	22
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	23
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	24
25	1.316	1.798	2.060	2.485	2.787	25
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	26
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	27
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	28
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	29
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	∞